

ニチアス 技術時報

No. 381

2018 2号

Contents

【寄稿】

高温多湿気候下の都市住宅を対象とした
パッシブクーリングによる省エネ改修手法の開発
—ニチアス・エコハウスによる実証研究—

【製品紹介】

厨房排気ダクト用防火材
TOMBO™ No.4520-S「セラカバー® S」



【製品紹介】

TOMBO™ No.9014
「サニクリーン® ガスケット」

【解説】

ガスケットの締付管理について

目次

【寄稿】

- ◆高温多湿気候下の都市住宅を対象としたパッシブクーリングによる省エネ改修手法の開発
－ニチアス・エコハウスによる実証研究－ 1
- 広島大学大学院国際協力研究科 准教授 久保田 徹
Universiti Tun Hussein Onn Malaysia 講師 Mohd Azuan Zakaria

【製品紹介】

- ◆厨房排気ダクト用防火材
TOMBO™ No.4520-S 「セラカバー® S」 8
- 工業製品事業本部 省エネ製品技術開発部
- ◆TOMBO™ No.9014 「サニクリーン® ガasket」 11
- 工業製品事業本部 ゴム事業推進室

【解説】

- ◆ガasketの締付管理について 15
- 基幹産業事業本部 基幹製品事業部

【連載】

- ◆シール材 Q&A (最終回) 19

表紙写真：

①省エネ改修実証実験住宅－ニチアス・エコハウス－
弊社のCSR活動によりマレーシア工科大学構内に建設した実験住宅。マレーシアの標準的なテラスハウスを模した建物で、同国の高温多湿気候下での快適な生活を実現するための省エネ改修法の研究に用いられている。

②「サニクリーン® ガasket」

医薬品や食品業界の製造ライン配管に用いられるガasket。各種の厳しい規格に適合し、優れた耐薬品性と低着香性により医薬・食品業界を支えている。



送り先ご住所の変更、送付の停止などにつきましては、下に記載の連絡先までご連絡ください。
なおその際は、宛て名シールに記載されている7桁のお客番号を必ずお知らせくださいますよう、お願いいたします。

〈連絡先および本誌に関するお問い合わせ先〉

ニチアス株式会社 経営企画部広報課
TEL:03-4413-1194
FAX:03-3552-6149
E-mail: info@nichias.co.jp

本誌の内容は当社のホームページでもご紹介しております。
<http://www.nichias.co.jp/>

高温多湿気候下の都市住宅を対象とした パッシブクーリングによる省エネ改修手法の開発 —ニチアス・エコハウスによる実証研究—

広島大学大学院国際協力研究科 准教授 久保田 徹

Universiti Tun Hussein Onn Malaysia 講師 Mohd Azuan Zakaria

弊社はCSR活動の一環として、2012年度から広島大学大学院とマレーシア工科大学が共同で進めているマレーシアの都市住宅の省エネ化プロジェクトに対して、研究助成と技術協力を行っています。本号では弊社の支援により建設した実証実験住宅による省エネルギー改修実証実験の結果について寄稿いただきましたのでご紹介いたします。

1. はじめに

マレーシアでは2010年までの過去30年間で人口は倍増し、現在は約3千万人に達している。堅調な経済成長を経験したことで、同期間に国内の最終エネルギー消費量は5倍以上の伸びを示した^{1, 2)}。アジア開発銀行の資料³⁾によれば、総人口に占める中間所得者層の割合は、1990年の時点ですでに8割を超え、現在の比率は約9割に達する。一方、住宅数は特に1990年代から2010年までの増加が大きく、2016年現在で500万棟ほどの住宅ストックがある⁴⁾。東南アジア各国で開発段階は大きく異なるため、住宅の省エネルギー手法や政策を均一に論じることはできないが、マレーシアに限っていえば、こうして近年に何百万と建設されたレンガ造の既存都市住宅をいかに効率的に改修するかが重要な課題といえる。

こうした背景から、筆者らは、ニチアス株式会社より研究助成をいただき、マレー半島南端に位置するジョホールバルのマレーシア工科大学(UTM)のキャンパス内に実大スケールの実験住宅「ニチアス・エコハウス」(2015年12月竣工)を建設し、これまでに検討した省エネ改修手法の効果を実証する実験を始めた^{5), 6)}。本報では、この実証実験の結果の一部をその背景となったシミュレーション結果とともに紹介する。

2. 実験住宅の概要

UTMのキャンパス内(1° 29'N 103° 44'E)に建設した実験住宅(隣り合う2棟のテラスハウス)を図1に示す。

この実験住宅は、現地のデベロッパーを訪問す

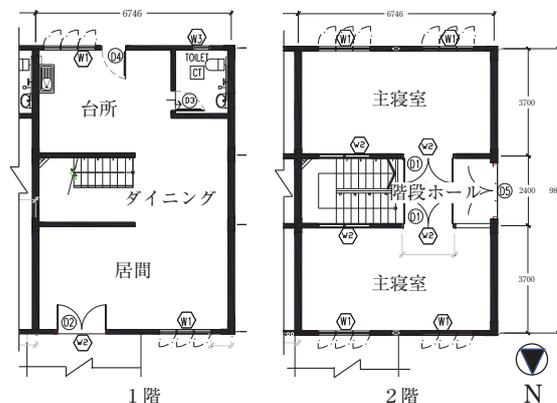


図1 マレーシア工科大学キャンパス内に建設した省エネ実験住宅「ニチアス・エコハウス」

るなどして収集した219件のテラスハウスの図面を外観や敷地面積、部屋の配置などの観点から分類して標準的建物を定めて模したものであり、既存都市住宅をよく代表していると考えている。各ユニットの大きさは約6.7m×9.8mで、延床面積は127m²である。建物正面は真北に面しており、熱帯において直達日射を建物正面と背面の壁面で受けにくい配置である。構造は、RCのフレームにレンガ壁を用いた現地で典型的な仕様である。改修手法の検討を目的とするため、できるだけ現行の仕様に従ったが、建設後に変更することが難しいものについては予め取り付けを行った(図2)。



図2 設置した排気ファンとスリット窓

3. 熱環境シミュレーション

3.1 シミュレーション方法

シミュレーションでは、熱計算プログラム TRNSYS と換気量計算プログラム COMIS を用いた。上述の実験住宅を再現した建物モデルは、小屋裏を含む12個のゾーンによって構成された。シミュレーションで再現した各部位の構成と熱貫流率は文献⁷⁾に詳述している。

シミュレーション結果は、気温・湿度、放射温度ともに同実験住宅を対象とした実測結果と良く一致し、採用した数値モデルの妥当性を確認でき

た。精度検証結果の詳細は文献⁷⁾に示している。

表1にシミュレーションで検討した改修方法を示す。ここでは、マレーシアの建材市場で扱われるもので、なおかつ上述した一部の例外を除き、既存のテラスハウスの改修方法として導入可能なものを選定した。自然換気は現状の昼間換気に加え、夜間換気、終日換気、終日閉鎖の4通りを採用した。断熱については屋根、天井、外壁、内壁、境界壁、床にそれぞれ熱抵抗値 $R=1.5, 3$ (m²·K)/Wの断熱材を導入した場合を検討した。なお、本シミュレーションでは、無居住の実験住宅を対象としたため、内部発熱は考慮していない。

表1 シミュレーションで検討した改修方法

導入手法	詳細
建物方位	4方位(東, 西, 南, 北)
自然換気*	夜間換気 (20:00 - 8:00), 昼間換気 (8:00 - 20:00), 終日閉鎖 (0h), 終日換気 (24h)
強制換気	小屋裏 (40 ACH), 主寝室 (40 ACH), 建物全体換気 (30 ACH) (稼働時間: 20:00 - 8:00)
断熱材	屋根 ($R=3$ (m ² ·K)/W), 天井 ($R=3$), 外壁外側 ($R=3$), 外壁内側 ($R=1.5$), 内壁 ($R=1.5$), 境界壁 ($R=1.5$), 床 ($R=1.5$)
日射遮蔽(窓面)	窓外側, 窓内側 (Shading factor, SF: 0.75)
高反射塗料(屋根)	日射反射率: 0.8, 長波放射率: 0.8
窓ガラス	Low-E ガラス (U-value: 2.54 W/(m ² ·K), G-value: 0.44%)

*括弧内は窓の開放時間

シミュレーションには、首都クアラルンプール(3° 07'N 101° 33'E)の気象データを基に作成された標準年気象データ⁸⁾の4~5月の2ヶ月間のデータを用いた。以下では、特に典型的晴天日が続いた10日間を解析対象とした。この対象期間中の気温は25~36℃で、相対湿度は40~95%であった。なお、シミュレーションでは、すべて5日以上助走期間を与えた。

3.2 シミュレーション結果

まず、いずれの改修も行わない状況で、異なる自然換気条件下における2階寝室の気温と相対湿度の期間平均値を比較した。図3に示すように、

夜間換気（20:00 - 8:00に窓を開放）を採用した場合に、日最高気温と日平均気温は最も低くなった。これまでの研究⁹⁾でも見られた傾向である。夜間換気の場合には、夜間の室温が現状の昼間換気（8:00 - 20:00に窓を開放）に比し約1.6℃低下するが、それでも外気温に比べ約2.2℃高い。また、夜間換気よりも終日換気の方がわずかに夜間の気温低減効果大きい。このように、夜間換気は熱容量の大きいレンガ造のテラスハウスにおいて気温低減については非常に効果的といえるが、一方で相対湿度が高くなり、一日を通じて60%を下回らない（図3）。昼間の室温上昇は避けられないものの、相対湿度の点から、昼間、窓を閉める夜間換気よりも、窓を開放し風通しを重視した終日換気の方が好ましいと考えることもできる。そこで以下では、室温低減を重視した夜間換気と風通しを重視した終日換気の2通りの場合に絞って考察を進める。

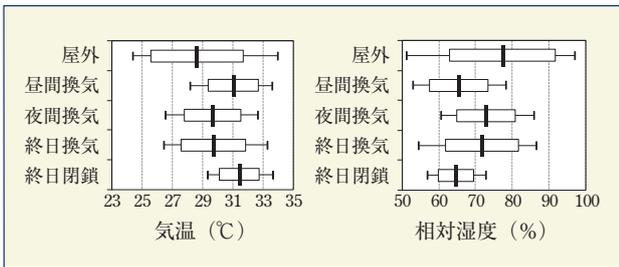


図3 異なる自然換気条件下における2階寝室内の気温・相対湿度（図中のデータはシミュレーション期間中の5%、95%値と平均値、および、平均値±標準偏差を示す。以降の図も同様）

本シミュレーションでは、夜間の2階寝室における作用温度を低減し、なおかつ、1階リビングの昼間の作用温度が熱的快適域の上限値を超える時間を最小とすることを条件として、各省エネ改修方法の導入の優先順位を定めた。なお、上記の検討の際には、実験計画法を用いて検討する省エネ改修方法の組み合わせ数を減じた。

夜間換気の場合の組み合わせの検討結果を図4に示す。この図では、検討したすべての組み合わせのうち、効果の大きい順に累積的に改修方法を導入していった。なお、図中の快適域は筆者ら¹⁰⁾によって開発された高温多湿気候下の自然換気建物のための適応モデル（ACE: Adaptive

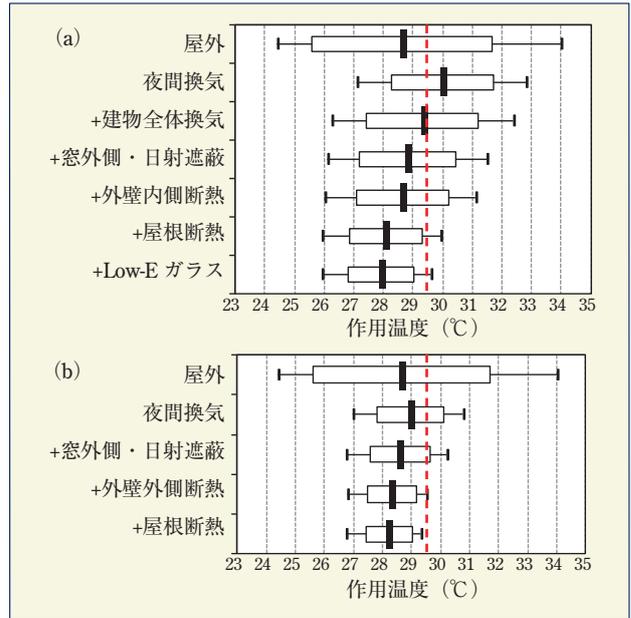


図4 夜間換気時に各改修方法を複合的に導入した場合の2階寝室の作用温度（図中の破線はACE¹⁰⁾による快適域の80%上限値）

Comfort Equation) によって導出された80%上限値を示す。

夜間換気を前提とした場合、2階寝室において、まず選択されたのは大型の排気ファンを用いた建物全体換気（20:00 - 8:00稼働）であった（図5）。建物全体換気の導入により、寝室内の作用温度の日最低値は約0.8℃、日最高値は約0.4℃低下した。次に選択されたのは窓外側の日射遮蔽であり、この場合、日最低値はさらに約0.2℃低下し、また日最高値は約0.9℃低下した。これらに続いて、外壁の内断熱、屋根断熱、窓のLow-Eガラスへの変更が選択された。一方の1階リビングでは、最も効果が高かったのは窓外側の日射遮蔽であり、この場合、室内の作用温度の日最高値

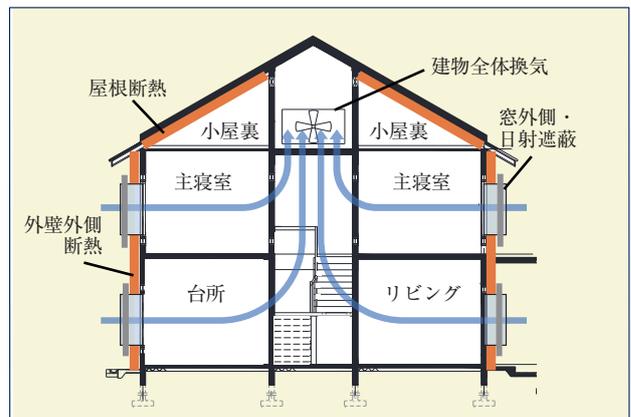


図5 パッシブクーリングの場合の省エネ改修方法の組み合わせ

は約0.6℃低下した。これに続いて、外壁の外断熱、屋根断熱が選択された。

昼の風通しを重視した終日換気（一日中、窓を開放）の場合にも、選択された改修方法の優先順位は夜間換気の場合とほぼ変わらなかった。しかし、昼間窓を開けることを前提とするため、各改修方法による日最高値の低減効果は夜間換気に比べて大きく減少した。

以上の分析より、2階寝室における夜間の作用温度をできるだけ低減し、なおかつ1階リビングの昼間の作用温度を抑える最適な改修方法の組み合わせを導いた。その結果、夜間換気と終日換気の両方に共通して、①屋根断熱、②外壁の外断熱、③窓外側の日射遮蔽、④排気ファンを用いた夜間の建物全体換気の4つの組み合わせを提案した（図5）。

4. 実大スケールの実証実験

東南アジアの新興の都市住宅のほとんどは、今やレンガ造の住宅である。前節でも示したとおり、こうした熱容量の大きいレンガ造の住宅では、昼の室温は外気温に比し比較的低温に保たれる。内部発熱による影響を無視すれば、この室温低減効果は、無論、窓を閉鎖した場合の方が大きい、しかし自然風による室内風速の増加は望めない。また、相対湿度が高くなりがちなることは前節までに見てきたとおりである。一方で夜だけでなく昼も窓を開放すれば、当然、日中の室温は上昇し外気温に近づくが、しかし風通しによる風速増加が見込まれる。つまり、室温低下を優先した夜間換気と、風通しを重視した終日換気には一長一短がある。以下の実証実験では、提案した省エネ改修方法の効果の実証のみならず、特にこの点についても考察したい。

4.1 実験方法

実証実験は2016年6～9月に実施した。ここでは、2棟ある住宅のうちの東側House 1は制御ユニットとして変化を与えず、一方の西側House 2を実験ユニットとして改修を施し、2棟の差を見るこ

とで各改修方法による効果を分析した（図1参照）。

計測点位置および計測項目の詳細は文献⁷⁾に譲るが、特に2階寝室では気温の鉛直分布等も計測した。実験は、夜間換気を前提とする場合（Case 1-3）と終日換気を前提とする場合（Case 4-6）に分けて行った。断熱材、日射遮蔽や排気ファンの性能はシミュレーションと同じ条件のものを採用した。実験住宅の北側と南側の両方で計測を行ったが、ここでは主に南側の寝室の結果を基に考察する。

4.2 実験結果

夜間換気を前提としたCase 1-3における2階寝室の高さ1.1mにおける気温の時間的変動を図6に示す。Case 1は、①屋根断熱、②外壁・外断熱、③窓外側の日射遮蔽の3手法を導入したケースであり、Case 2では、さらにこれらに④夜間の建物全体換気を加え、さらにCase 3では⑤小屋裏換気を加えている。

Case 1の改修は日射対策であるため、その効果は昼間においてのみ表れる（図6a）。日中の平均で0.6℃、ピーク時では最大で0.9℃低減した。建物全体換気を加えたCase 2では夜間の気温低減効果が顕著に表れた（図6b）。日中の低減効果はCase 1から変化がないものの、夜間の平均気

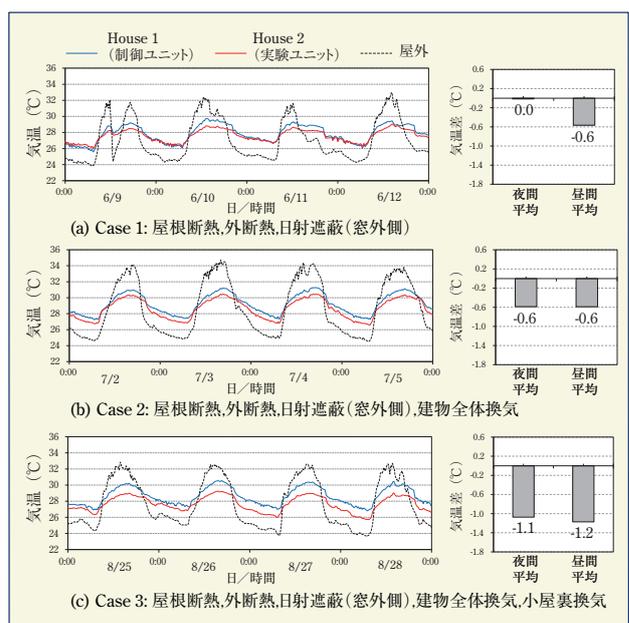


図6 夜間換気の場合の各改修方法の効果（2階寝室中央高さ1.1mにおける気温）

温は0.6℃低下した。これに小屋裏換気（夜間のみ稼働）を加えたCase 3では、夜間のみならず日中の気温低減効果も増大した（図6c）。日中の平均で1.2℃、ピーク時で最大1.3℃低減し、さらに夜間においても平均で1.1℃低下した。

最も気温低減効果が大きかったCase 3における建物全体の気温の空間分布を図7に示す。制御ユニット（House 1）と実験ユニット（House 2）を比較すると、まず、屋根断熱の効果が昼のピーク時の小屋裏内の気温によく表れていることが分かる。House 1では外気温とほぼ等しい32℃程度まで上昇しているのに対し、House 2では30℃程度に抑えられている。これが2階寝室天井の表面温度に影響し、さらにHouse 1では寝室上部の気温を上昇させている。窓外側の日射遮蔽と外壁断熱の効果もあり、1階リビングにおいてもHouse 2の室温はHouse 1よりも0.6～0.7℃程度低い。

Case 3では、夜間（20:00～8:00）、排気ファンを用いた建物全体換気と小屋裏換気が同時に行われた。このため、House 2の小屋裏内はHouse 1に比して夜間も低温に保たれている（図7）。なお、Case 3に限って、夜間、House 2では、通常の主窓ではなく、その上下に位置するスリット窓が開けられていた。その効果もあって、House 2では、天井と床の表面温度が比較的大きく低下した。結果として、室温の鉛直分布がほとんど無くなっている。

次に、終日換気を前提としたCase 4～6における2階寝室における気温の時間的変動を図8に示す。Case 4で導入した改修方法はCase 1と同様であるが、日中に窓を開放するCase 4では、夜間のみならず、昼間の気温低減効果は表れない（図8a）。むしろ、わずかではあるが夜間の室温を上昇させている。これはシミュレーション結果でも確認されたが、外壁の外断熱によって夜間の屋外への放熱が妨げられた結果であろう。夜間の建物全体換気を加えたCase 5では、夜間の気温低減効果が顕著に表れた（図8b）。Case 2とほぼ等しく、夜間の平均気温は0.7℃低下した。これに小屋裏換気を加えたCase 6では、夜間の気温低減効果がわずかに増大した（図8c）。

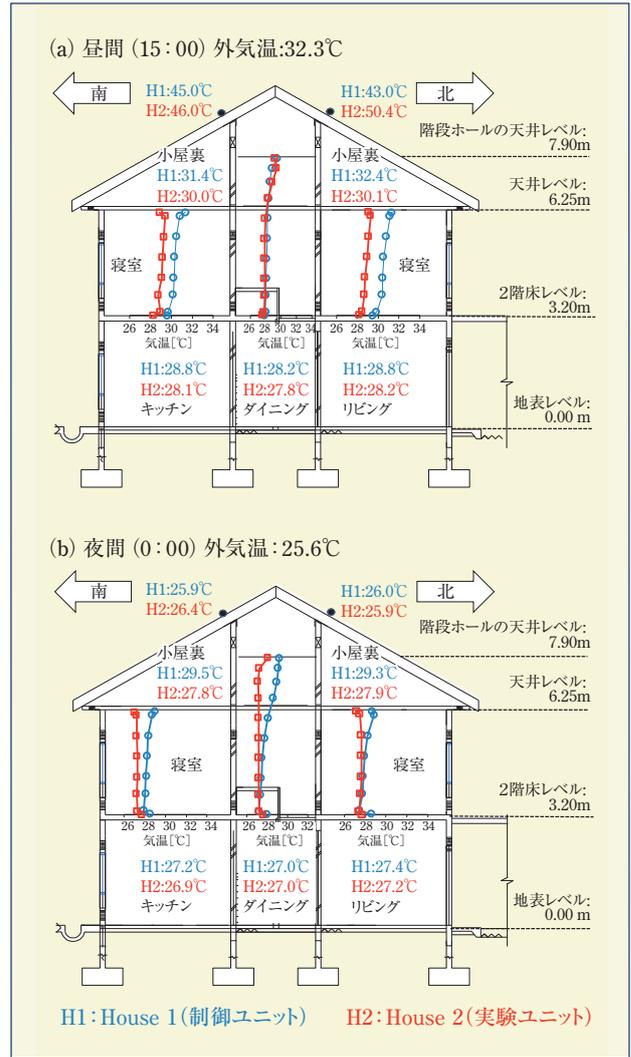


図7 Case 3における建物全体の気温の空間分布

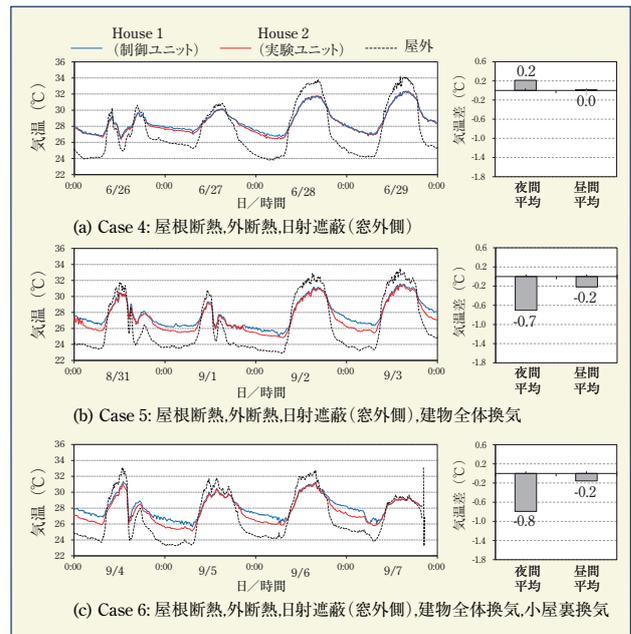


図8 終日換気の場合の各改修方法の効果（2階寝室中央高さ1.1mにおける気温）

4.3 2階寝室における熱的快適性の評価

マレーシアを含む東南アジア都市では、通常、寝室にエアコンが設置され、夜間就寝時に長時間にわたって使用される傾向がある⁹⁾。ここでは、提案した省エネ改修方法を導入した場合の2階寝室と1階リビングにおける熱的快適性を評価した。前節では、制御ユニットと実験ユニットの比較を通じて各改修方法の効果を検討したが、ここでは同様の条件で行った実験結果をまとめ、1日当たりで平均し、条件ごとの比較を行う(図9)。

図9aは、室温低下を優先し夜間換気を採用した場合の1日当たりの平均気温・相対湿度、平均風速の変動を示す。また、作用温度とSET* (0.4 clo, 1.0 met) を算出し評価に用いた。なお、図中の快適域は前述のACE¹⁰⁾に基づく80%上限値である。

前節までに見てきたとおり、夜間換気の場合の室温低減効果は大きく、日中の気温は外気温に比し、2階寝室で約4℃、1階リビングで約4.5℃低い(図9a)。一方の夜間の室温も大きく低下するが、それでもまだ外気温よりも2℃程度高い。終日換気の場合では、日中の気温は外気温に比し、2階寝室で約2℃、1階リビングで約3℃低い(図9b)。夜間の室温低減効果は、夜間換気の場合とほぼ等しい。終日換気の場合には、昼に窓が開放されるため0.2m/s程度の室内風速が得られている。このため、作用温度で見ると終日換気の場合の方が日中高温になるが、SET*で評価した

場合には、両条件でほとんど違いが無くなる(日中で30℃ SET*程度)。つまり、風速増加に伴う発汗・蒸発による冷却効果を考慮すると、風通しを重視した終日換気と室温低下を優先した夜間換気の場合の室内の熱的快適性はおおむね等しいレベルと評価できる。

熱的快適性のみならず、健康性の観点から、相対湿度は40～60%が望ましいとされている¹¹⁾。特に70%を超えると、カビ・ダニの発生が問題となるとの指摘は多い¹²⁾。図9aのとおり、夜間換気の場合には一日を通じて75%以上の非常に高い相対湿度が続く。これに対して、終日換気の場合には、十分とはいえないまでも、日中の相対湿度は一部で70%以下に低下する。したがって、これまでの結果からまとめると、エアコンをまったく使用しないパッシブクーリングの場合には、熱的快適性と健康性の観点からレンガ造の住宅にあってここで提案するような改修を施したうえで、終日換気を採用することが望ましいといえそうである。風速が足りない場合には、天井ファンなどを併用することで補うことが可能であろう。

5. まとめ

本報では、マレーシアに建設した実大スケールの実験住宅を用いた省エネ改修方法に関する研究結果を報告した。得られた主な知見は以下のとおり。

- 東南アジアの都市住宅の多くは熱容量の大きいレンガ造の住宅である。住宅形式については、マレーシア都市ではテラスハウスが約45%を占める。
- こうしたレンガ造のテラスハウスでは、室温低減については夜間換気が非常に効果的といえるが、その場合、室内の相対湿度は一日を通じて高くなりやすい(70%以上)。
- エアコンを使わないパッシブクーリングの場合、①屋根断熱、②窓外側の日射遮蔽、③外壁の外断熱、排気ファンを用いた④建物全体換気、⑤小屋裏換気などが特に有効であり、これらの改修方法の組み合わせによって室内

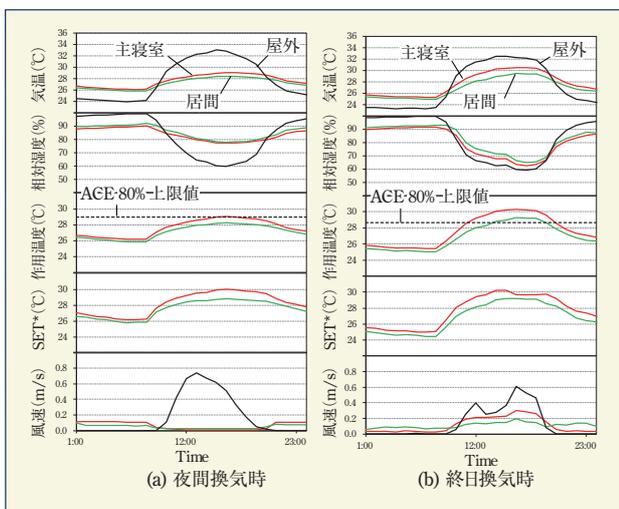


図9 2階寝室における気温・湿度、風速の日変化、および、熱的快適性の評価結果

の熱的快適性は大きく改善されることを実証した。

○高温多湿気候下に立地したレンガ造の住宅において、エアコンを使わずに熱的快適性を得る方法には、主に、夜間換気を採用し室温低下を優先させる方法と、室温上昇を犠牲にしても昼の風通しを重視し終日換気を行う方法の2通りが考えられる。本実験では、SET*を用いて評価したところ、室内風速の増加のため、室内の熱的快適性は2通りの方法でほとんど等しいとの結果を得た。熱的快適性だけでなく、カビ・ダニなどの健康性を考慮すれば、昼に窓を閉める夜間換気よりも、窓を開放する終日換気の方が適しているといえそうである。

本報では、まったくエアコンを使わないパッシブクーリングによる改修方法を検討したが、現実的には、エアコン使用は避けられないと考えている。これは、マレーシアの都市では、すでに6-7割の住宅にエアコンが普及していることや、また都市ヒートアイランド現象や地球温暖化の影響によって都市の気温はかなりのスピードで上昇しているためである。筆者らは、寝室のみでエアコンを使用する部分冷房が望ましいと考えている。エアコンを使用するスペース以外で最大限パッシブ手法を導入することで、冷房負荷を抑えエアコン消費を最小化する考えである。この場合に最適な改修方法は、完全なパッシブクーリングの場合と異なる。次報において詳細に論じたい。

冒頭に記したとおり、本研究の実施にあたって、ニチアス株式会社から多大な支援を受けている。また、本研究はこれまでの本研究室に在籍した学生の手によるものであり、彼らの努力に敬意を表したい。特に、杉山君、安福君、楠木君、森下君、大橋君、阿部君からの貢献は多大であった。ここに記し深く感謝の意を表します。

参考文献

1) Department of Statistics Malaysia, Population Distribution and Basic Demographic Characteristics, Population and Housing Census of Malaysia (2010, 2011), Department of Statistics Malaysia.

2) Economic Planning Unit, Malaysia Plan (1986, 1991, 1996, 2001, 2006).

3) Natalie Chun, Middle Class Size in the Past, Present, and Future: A Description of Trends in Asia, ADB Economics Working Paper Series No. 217 (2010), Asian Development Bank.

4) Pusat Maklumat Harta Tanah Negara, Residential Property Stock Report (1990-2016).

5) 久保田徹：高温多湿気候下の都市住宅を対象としたパッシブクーリングによる省エネ改修手法の開発－ニチアス・エコハウスによる実証研究への期待－，ニチアス技術時報，No.1, pp.11-15, 2015.

6) 久保田，Mohd Azuan Zakaria：マレーシアの都市住宅を対象としたパッシブクーリングによる省エネ改修手法，太陽エネルギー，Vol. 43, No.4 (通巻240号)，2017.

7) T. Kubota, M. Ohashi, M. A. Zakaria, Full-scale experiments on energy-saving modification for existing urban houses in Malaysia: Part 1. Numerical simulation on optimum combinations of passive cooling techniques, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (中国) (2017).

8) Q. Zhang, Development of Weather Data for Building Simulations and Air-Conditioning Design for Asian Locations, Proceedings of SET2013, Aug.26-29, Hong Kong (2013).

9) 杉山奨，安福悟志，久保田徹，D. H. C. Toe：高温多湿気候下のマレーシアの都市住宅を対象としたパッシブクーリングによる省エネルギー改修効果の検討，日本建築学会環境系論文集，80 (714)，673-683，2015.8.

10) D. H. C. Toe, T. Kubota, Development of an adaptive thermal comfort equation for naturally ventilated buildings in hot-humid climates using ASHRAE RP-884 database, Frontiers of Architectural Research, 2 (3), 278-291 (2013).

11) E. M. Sterling, A. Arundel, T.D. Sterling, Criteria for human exposure to humidity in occupied buildings, ASHRAE Trans. 91 (1B) (1985) 611-622.

12) P. Johansson, A. Ekstrand-Tobin, T. Svensson, G. Bok, Laboratory study to determine the critical moisture level for mould growth on building materials, Int. Biodeterior. Biodegrad. 73 (2012) 23-32.

筆者紹介



久保田 徹

広島大学大学院国際協力研究科
准教授
日本建築学会など
博士 (工学)
東南アジア地域の都市住宅の省エネルギーに関する研究に従事



Mohd Azuan Zakaria

Universiti Tun Hussein Onn Malaysia
講師
日本建築学会など
博士 (工学)
熱帯地域における住宅内の熱的快適性とパッシブクーリングに関する研究に従事

厨房排気ダクト用防火材 TOMBO™ No.4520-S 「セラカバー® S」

工業製品事業本部 省エネ製品技術開発部

1. はじめに

キッチンなど厨房排気ダクト内部には、調理によって発生した油やほこりが付着・堆積していきます。調理時の熱や炎が原因でこれらが発火し、ダクト内火災を引き起こすことがあり、集合住宅においてはダクトが延焼ルートとなり、大規模な火災の要因となることがあります。

このような排気ダクト内火災が発生した場合を想定し、排気ダクトの加熱による周辺部材への延焼を防止するため、厨房排気ダクトに一定の防火性能を持つ断熱材（ロックウールなど）で厚さ50mmの被覆を定めている自治体が多くあります。

TOMBO™ No.4520-S 「セラカバー® S」（以下、「セラカバー® S」、図1）はわずか厚さ20mmの被覆で厚さ50mmのロックウールと同等の断熱性能を持ち、施工時の省スペース化を実現した厨房排気ダクト用防火材です。開発以来、東京都をはじめとした数多くの自治体の火災予防条例に適合した製品として広く用いられております。



図1 TOMBO™ No.4520-S 「セラカバー® S」

今般、各自治体において防火性能の判断の指針として用いられている、（一財）日本消防設備安全センターの性能評定を取得しましたので、製品とあわせて紹介いたします。

2. 製品の概要

「セラカバー® S」は、耐熱無機繊維をバインダーで円筒状に成形し、その表面にアルミガラスクロス（ALGC）を貼った厨房排気ダクト用防火材で、以下の特長を有します。

2.1 被覆厚さが薄い

「セラカバー® S」は厚さ20mmで、ロックウール厚さ50mmと同等以上の断熱性能を発揮します（図2）。そのため天井裏のダクトスペースを小さく設計することができ、室内スペースを広くすることが可能となります。故に都市部の住宅など省スペース化が要望される建物での使用に適しています。

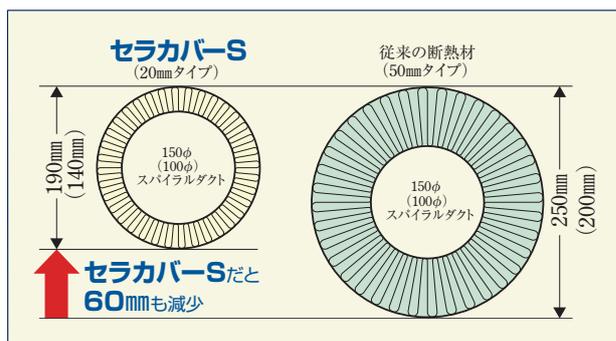
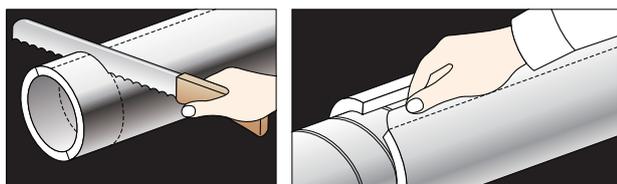


図2 「セラカバー® S」の被覆厚さ

2.2 高い加工性とワンタッチ施工

「セラカバー® S」は外装材（ALGC）付のスナップオンタイプの製品です。断熱材カッターで簡単に裁断することが可能で、ダクトに沿わせてはめ込み、両面テープで留める簡便な施工法であるため、従来のロックウール50mm巻付けと比べ、施工効率が大幅に向上します（図3）。



裁断が容易

両面テープによる固定

図3 「セラカバー® S」の簡便な施工

3. 日本消防設備安全センター性能評定

（一財）日本消防設備安全センターは、消防設備点検資格者の養成や消防用設備・機器の品質性能の確保向上を図るための認定・性能評定を行うことを目的として昭和50年に設立された機関です。同センターでは、厨房排気ダクト用防火材に関する性能評定として、「排気ダクトに使用する断熱材の性能評定内容及び試験方法」を定めています。

3.1 性能評定取得の背景

ロックウール50mm被覆とは異なる厨房排気ダクト用防火材を、各地方自治体の火災予防条例に適合させる場合、当該製品の不燃認定書とロックウール50mm被覆との性能比較試験結果が必要です。しかしながら性能比較試験は統一した試験方法が定められていないため、（一財）日本消防設備安全センターの性能評定を公正な評価結果として求める自治体が増えてきています。

3.2 試験方法

図4に断熱性能試験の模式図を示します。試験は、幅400mm×長さ400mm以上の供試体（「セラカバー® S」）を設置した壁炉を加熱し、断熱材の裏面温度を測定します。なお試験は同時に3枚以上の供試体で行います。加熱温度は、加熱開始から5分まではISO834-1に規定される加熱曲線、

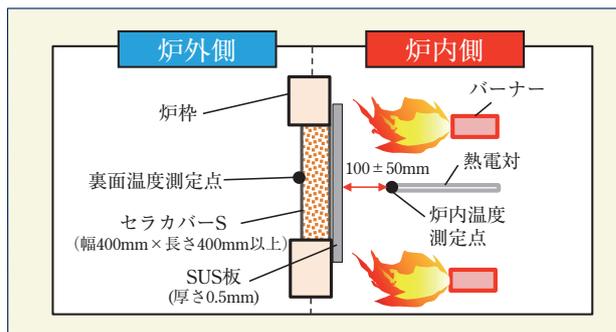


図4 断熱性能試験の模式図

5分から30分は550℃から600℃の間に保持します。

合格基準はそれぞれの供試体の最高温度の平均が140℃+初期温度以下（温度上昇が140℃以下）かつ最高温度の素点が180℃+初期温度以下（温度上昇が180℃以下）であることです。

3.3 試験結果

表1および図5に断熱性能試験結果の一例を示します。この試験の場合、初期温度が8℃となり、合格基準は断熱材裏面の最高温度の平均値が148℃以下になります。試験の結果、断熱材裏面の最高温度の平均値は120℃で基準を満たしております。

本試験により「セラカバー® S」は厨房排気ダクト用防火材として十分な断熱性能を有することが確認され、性能評定を取得しました。

表1 断熱性能試験結果

	平均	素点
断熱材裏面温度	初期温度	8℃
	最高温度	120℃
合格基準温度 ①平均：140℃+初期温度以下 ②素点：180℃+初期温度以下		148℃以下 188℃以下
合否判定		合格 合格

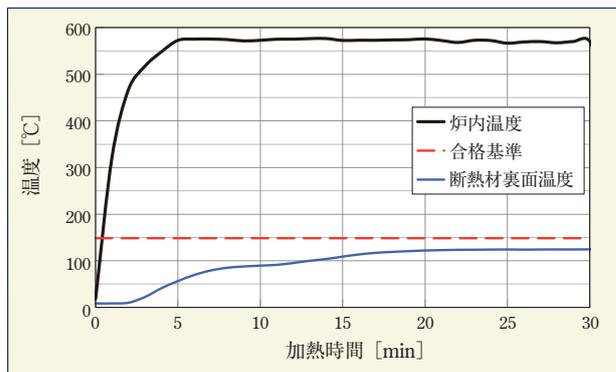


図5 断熱性能試験のグラフの一例

4. 各種認定など

「セラカバー® S」が取得している認定などを紹介します。

- (一財) 日本消防設備安全センター
性能評定 29 - 004号
- 国土交通大臣認定不燃材料 NM - 4365
- ホルムアルデヒド発散等級 F☆☆☆☆
MFN - 3404
- 東京都火災予防条例
第3条の2第1項第2号ハの規定に適合
- 横浜市火災予防条例
第4条の4第1項第2号ウの規定に適合

※その他、主要消防局の承認もありますので、お問い合わせください。

5. 製品種類および標準寸法

「セラカバー® S」の種類を図6に示します。ダクト形状に合わせて直管用、90°エルボ用、45°エルボ用があります。標準寸法を表2に示します。



図6 「セラカバー® S」の種類

表2 「セラカバー® S」の標準寸法

	呼び径 [mm]	厚さ [mm]	長さ [mm]
直管用	150	20	1000
	125		
	100		
90°エルボ用	150		-
	125		
	100		
45°エルボ用	150	-	
	125		
	100		

6. 標準施工要領

「セラカバー® S」は前述のとおり、高い加工性とワンタッチ施工を特長としています。以下に標準施工図(図7)および標準的な施工要領を示します。

- ① 「セラカバー® S」のカット部を上にして、スパイラルダクトに沿わせてはめ込みます。吊金具に当たる場合は、寸法に合わせ隙間ができないように「セラカバー® S」に切り込みを入れてください。
- ② 外被材の重ね合わせ部分の両面テープをはがし、ワンタッチ留めします。
- ③ 継ぎ目はアルミガラスクロス粘着テープ(50mm幅以上)で固定してください。
- ④ 「セラカバー® S」直管1mにつき、1~2ヶ所を金属バンドまたは亜鉛引鉄線などで留めてください。

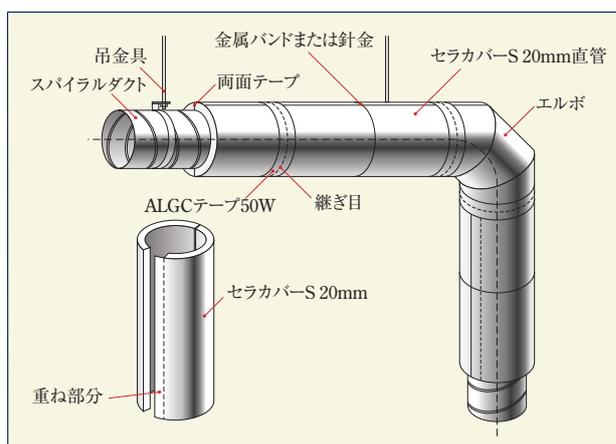


図7 標準施工図

7. おわりに

TOMBO™ No.4520-S「セラカバー® S」はロックウール被覆50mmと同等の防火性能を持ち、かつ省スペース化を実現した厨房排気ダクト用防火材として多くの実績があります。今般、(一財)日本消防設備安全センターの性能評定を取得したことで、これまで以上にご採用を検討いただければ幸いです。

本製品に対するお問い合わせは工業製品事業本部省エネ製品技術開発部までお願いいたします。

- *「TOMBO」はニチアス(株)の登録商標または商標です。
- *「セラカバー」はニチアス(株)の登録商標です。
- *本稿の測定値は参考値であり保証値ではありません。

TOMBO™ No.9014 「サニクリーン® ガスケット」

工業製品事業本部 ゴム事業推進室

1. はじめに

医薬品や食品、飲料業界において、安全かつ衛生度の高い製品を提供することは最重要課題です。そのため、製品の製造ラインの配管部分は、衛生管理を目的として着脱や洗浄が容易な「サニタリー（衛生的な）仕様」になっています。弊社では、サニタリー配管の継手に使用するサニタリーガスケットとして、耐汚染性、低着香性を併せ持つTOMBO™ No.9014「サニクリーン® ガスケット」（以下、「サニクリーン® ガスケット」）をラインアップしています。本稿ではその特長についてご紹介します。

2. サニタリーガスケットに要求される性能

食品製造ラインでは、配管内をクリーンな状態に保つため、特殊な方法で洗浄が行われています。特に最良な洗浄方法としてCIP（Cleaning In Place：定置洗浄）が普及しています。CIPは洗浄をいかに合理的に、かつ効果的に行うかを求めて開発された技術で、製造ラインの汚染リスクを最小限に留めることが可能です。本洗浄法は装置を分解することなく、洗浄剤で自動的に内部の洗浄を行います。汚染を確実に防止するため、洗浄に使用する薬液には熱苛性液や塩素水といったアルカリや酸のほか、蒸気などが使用されます。これらの薬液などがガスケットのゴムを劣化させることがあり、劣化したゴムが異物混入の

原因になります。そのためサニタリー配管の継手に使用されるガスケットは洗浄薬液などに対して膨潤や劣化することのないものが求められます。また、清涼飲料製造工場では飲料の充填ラインに複数の飲料水が流れ、飲料水Aから飲料水Bに製造を切り替える際に必ず配管内をCIPにより洗浄します。このときガスケットにAの香りが付着していた場合、BにAの香りが混入する「フレーバー汚染」が起こります。そのため匂い成分が付着しづらい、また付着したとしても除去しやすい着香性の低いガスケットが求められます。

従来、サニタリーガスケットのゴムにはEPDMやシリコンゴムが広く使用されていますが、耐薬品性や着香性に課題が残ることや、近年の安全意識の高まりから、よりサニタリー性の高い製品が求められています。

3. 「サニクリーン® ガスケット」

「サニクリーン® ガスケット」は、ゴム製サニタリーガスケットの接液表面を耐薬品性に優れたPTFEフィルムで被覆した、サンドイッチ型複合ガスケットです。ゴムの弾力性とPTFEの耐薬品性や耐汚染性、低着香性という両素材の特長を併せ持つ製品です。

3.1 製品ポジション

医薬・食品市場で使用されるゴム製品と「サニクリーン® ガスケット」のポジションのイメージを、図1に示します。EPDMやシリコンなど

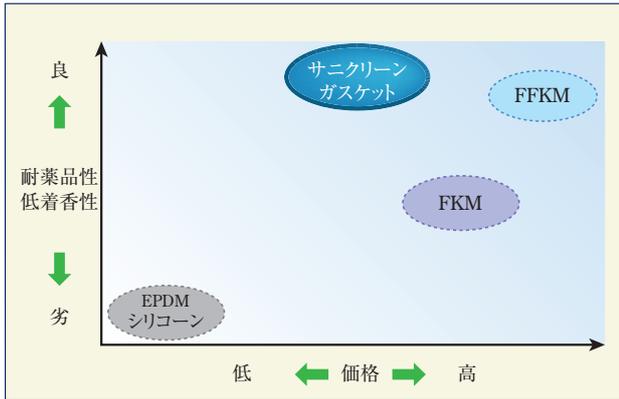


図1 製品ポジションのイメージ

の汎用ゴム製品は価格が安い反面、耐薬品性や着香性に難があり、寿命が短い製品です。一方、高機能ゴムであるFFKMは耐薬品性や低着香性に優れますが、非常に高価格な製品となります。FKM製品は汎用ゴムと比べ性能が高く、価格的にもFFKMより安価ですが、FFKMほどの性能

は期待できません。「サニクリーン® ガスケット」は上記3種類と比較し、性能や価格において非常にバランスのとれた製品です。耐薬品性や低着香性はFFKMと同等以上であり、価格は大幅に抑えられています。

3.2 製品種類

「サニクリーン® ガスケット」は被覆構造の違いにより、ねじ継手用の「サニクリーン® ガスケット-A」とフェルール用の「サニクリーン® ガスケット-B」(図2)があり、製品としては図3に示す3種類があります。

このなかでフェルール用のTOMBO™ No.9014-BW「サニクリーン® ガスケット-BW」(以下、「サニクリーン® ガスケット-BW」)は、EPDMゴム部が白色であり、一般のゴムガスケットとサニタリーガスケットの識別管理を容易にした製品です。

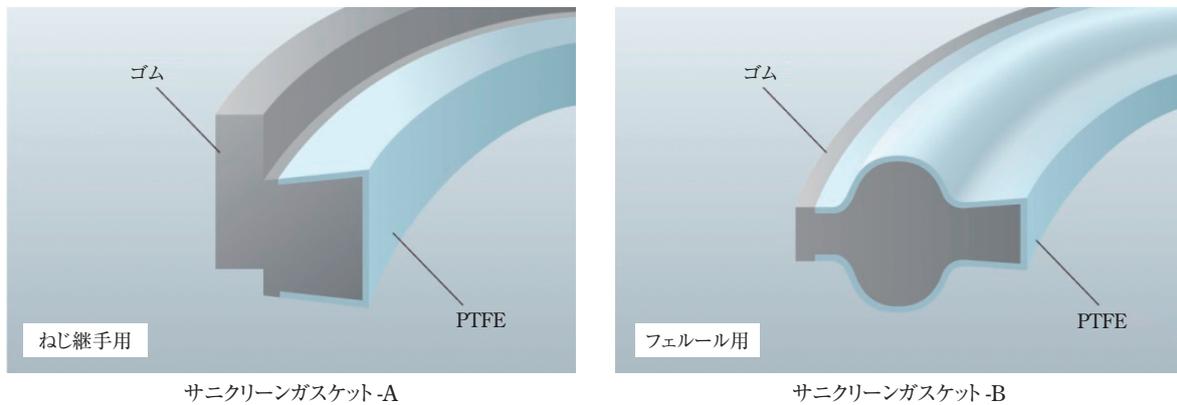


図2 「サニクリーン® ガスケット」の構造

製品名	TOMBO No.9014-A サニクリーンガスケット-A	TOMBO No.9014-B サニクリーンガスケット-B	TOMBO No.9014-BW サニクリーンガスケット-BW
外観			
用途	ねじ継手用	フェルール用	

図3 「サニクリーン® ガスケット」の種類

3.3 圧縮復元特性

「サニクリーン® ガスケット」ゴム部分について、常温における圧縮復元試験の結果を示します（図4）。圧縮復元特性は黒色の「サニクリーン® ガスケット」用ゴム，白色の「サニクリーン® ガスケット-BW」用ゴムで同等であり，それぞれについて締付トルクを別個に管理する必要はありません。

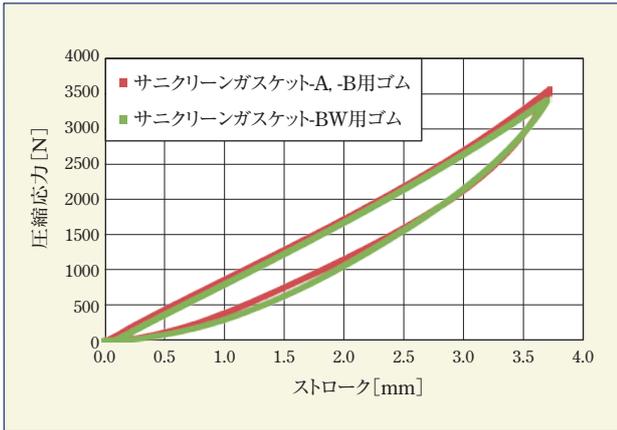


図4 常温における「サニクリーン® ガスケット」の圧縮復元特性

3.4 一般物性

表1に、「サニクリーン® ガスケット」のゴム部分の物性を示します。黒色，白色ゴムとも物性は同等であることがわかります。

表1 一般物性

	サニクリーン ガスケット -A, -B用ゴム	サニクリーン ガスケット -BW用ゴム
色調	黒	白
硬度 (DuroA)	81	80
引張り強さ [MPa]	19.8	13.7
伸び [%]	160	140
100%引張応力 [MPa]	11.8	9.7
比重	1.12	1.15
圧縮永久ひずみ 150℃×72時間 [%]	10	12

3.5 耐薬品性

表2に「サニクリーン® ガスケット」および各種ゴムガスケットの耐薬品性を示します。「サニクリーン® ガスケット」はPTFEで被覆されているため，耐薬品性が非常に高いことがわかります。したがってCIP洗浄に好適な製品です。

表2 各種ゴムガスケットの耐薬品性

薬品名	温度 (℃)	サニ クリーン [PTFE]	プレイザー A [FFKM]	三元系 ふっ素ゴム [FKM]	エチレン プロピレンゴム [EPDM]	シリコン ゴム [VMQ]
塩酸 (37%)	25	A	A	A	A	C
	80	A	A	A	C	D
硝酸 (60%)	25	A	A	A	D	D
	80	A	A	A	D	D
氷酢酸	25	A	A	D	C	B
無水酢酸	25	A	A	D	A	C
水酸化 ナトリウム (50%)	25	A	A	A	A	-
	80	A	A	A	A	D
次亜塩素酸 ナトリウム (10%)	25	A	A	A	A	D
水蒸気	150	A	A	A	-	D

※すべて7日間の浸漬結果

【評価記号】体積変化率

A: 0～5%未満 B: 5～10%未満

C: 10～20%未満 D: 20%以上（または著しい外観上の劣化）

3.6 低着香性

「サニクリーン® ガスケット」と各種ゴム材の着香を評価しました。以下に試験条件と結果を示します（図5，図6）。

〈試験方法〉

- ①検体付フランジにオレンジジュースを注入
(80℃×24時間加熱)
- ②検体を純水で洗浄
(90℃×60分加熱)

〈分析方法〉

P&T-GC/MSにより
アウトガス発生量を測定，
ジュース成分とリモネンを定量
加熱条件：80℃×15分
150℃×15分

飲料として，匂いの移りやすいリモネンを多く含有するオレンジジュースを用いました。また飲料の殺菌工程を模擬し，オレンジジュースを80℃で加熱し，次に純水で洗浄を行いました。分析は使用温度である80℃，「サニクリーン® ガスケット」の使用限界温度である150℃におけるアウトガス発生量を測定しました。

試験の結果、「サニクリーン® ガasket」は汎用ゴムだけでなく、FFKMと比較しても低着香性に優れることが確認されました。

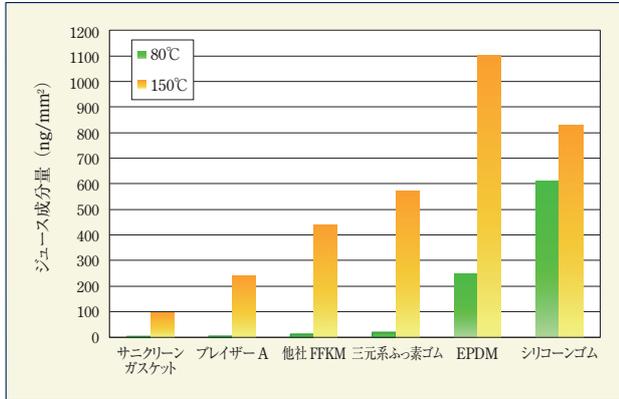


図5 ジュース成分測定量

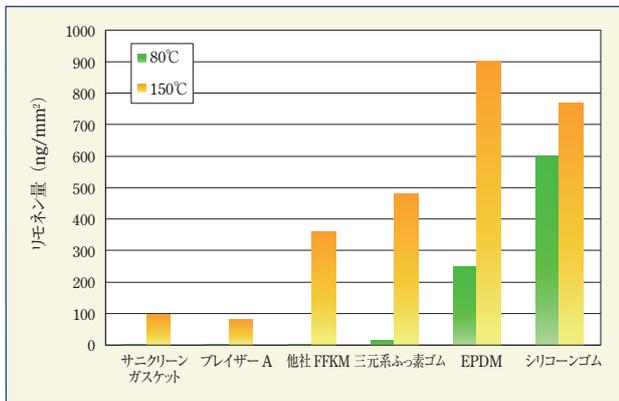


図6 リモネン測定量

3.7 適合規格

食品製造に用いられる部材には人体にとって有害な物質が溶出しないなど厳しい規格をクリアすることが求められます。「サニクリーン® ガasket」は表3に示す各種規格に適合しています。

表3 適合規格一覧

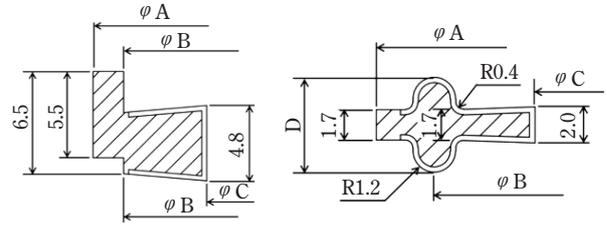
規格	項目
食品衛生法	第3のDの2 合成樹脂製の器具又は容器包装 第3のDの3 ゴム製の器具（ほ乳瓶を除く） 又は容器包装
FDA	§ 177.1550 Perfluorocarbon resins § 177.2600 Rubber articles intended for repeated use
USP (米国薬局方)	<87> Biological Reactivity Tests, In Vitro <88> Biological Reactivity Tests, In Vivo (USP Class VI)

3.8 標準寸法

「サニクリーン® ガasket」の標準寸法を表4に示します。IDF規格を基準に決定したものです

が、ISO2852およびISO2853によるねじ継手、クランプ式継手にも使用可能です。

表4 標準寸法



〈TOMBO No.9014-A〉 〈TOMBO No.9014-B, -BW〉

単位: mm

呼称寸法 サイズ	TOMBO No.9014-A			TOMBO No.9014-B, -BW			
	φ A	φ B	φ C	φ A	φ B	φ C	D
8 A	-	-	-	34.0	27.5	10.5	5
10 A	-	-	-	34.0	27.5	14.0	
15 A	-	-	-	34.0	27.5	17.5	
1 B	32.5	29.2	23.0	49.5 (49.0)	43.5	23.1	5.3
1・1/2 B	46.0	42.7	35.6	49.5 (49.2)	43.5	35.8	
2 B	59.5	56.2	47.8	63.0 (62.5)	56.5	48.0	
2・1/2 B	73.0	69.9	59.5	76.5	70.5	59.7	
3 B	86.5	82.6	72.1	90.0	83.5	72.3	
3・1/2 B	-	-	-	105.0	97.0	85.2	
4 B	112.5	108.3	97.6	118.0	110.0	97.8	

BタイプとBWタイプで基準寸法が異なるサイズは、() 数値でBWタイプの基準寸法を示しております。また、3・1/2BはBタイプのみの取り扱いとなります。

4. おわりに

本稿で紹介いたしましたTOMBO™ No.9014「サニクリーン® ガasket」は、CIP洗浄を採用している製造ラインでの使用に好適な製品です。DIN規格やSMS規格に準拠したサイズラインアップも予定しています。今後もより良い製品をご使用いただきたく、新製品の開発・改良を行ってまいります。ご意見、ご要望がございましたら、是非お聞かせください。

本製品に対するお問い合わせは、工業製品事業本部ゴム事業推進室 技術企画課までお願いいたします。

*「TOMBO」はニチアス(株)の登録商標または商標です。
*「サニクリーン」、「プレイザー」はニチアス(株)の登録商標です。
*本稿の測定値は参考値であり保証値ではありません。

ガスケットの締付管理について

基幹産業事業本部 基幹製品事業部

1. はじめに

フランジ締結体からの漏えいを防ぐためには、適正な力、適正な方法でボルトを締め付けて、締付荷重をガスケットに均等に負荷すること、シールに必要な締付荷重を運転期間中、維持し続けることが必要である。そのための管理基準がJIS B 8265¹⁾、JIS B 2251²⁾、ASME PCC-1³⁾、JPI-8R-15⁴⁾などの諸規格に規定されている。

本稿では、上記の規格の内容に加えて、当社が推奨する締付管理基準、方法を解説する。

2. シールに必要な締付力

内部流体をシールするために必要な締付力は、JIS B 8265に規定されている W_{m1} 、 W_{m2} という締付力を目安とするのが一般的である。以下にその考え方、計算方法を示し、さらに当社が推奨する締付力についても説明する。

2.1 ガスケットの有効幅 b 、有効径 G

平面座フランジでは、ボルト締付や内部圧力の作用によって、図1のように若干のたわみ（フランジローテーション）が生じる。そのため、内径側のガスケット面圧は低くなり、ガスケット中央部まで内部流体が入り込んできて、ガスケット面圧の高い外周側でシールすると考えられている。

有効幅 b と有効径 G を計算するために、まずはガスケットの基本幅 b_0 を計算する。基本幅 b_0 の計算式は、ガスケット形状と座面形状の組み合

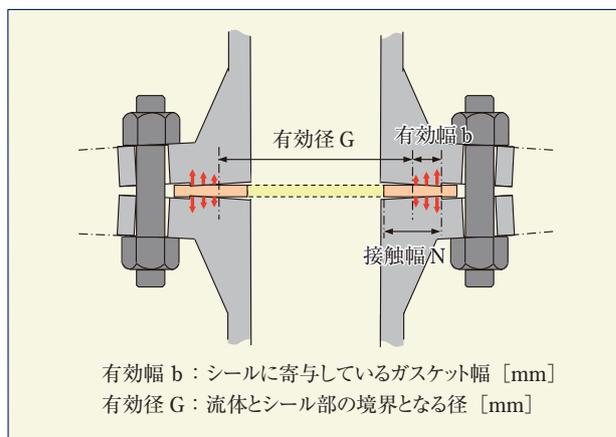


図1 有効幅と有効径

わせにより異なるが、平面座の場合、ガスケット接触幅 N の半分となる。

$$b_0 = N/2$$

基本幅 b_0 の値によって、有効幅 b と有効径 G は、次式で計算される。

$$b_0 \leq 6.35\text{mm} \text{ のとき}$$

$$b = b_0, G = \text{ガスケット接触面の平均径}$$

$$b_0 > 6.35\text{mm} \text{ のとき}$$

$$b = 2.52\sqrt{b_0}, G = \text{ガスケット接触面の外径} - 2b$$

2.2 使用状態で必要な締付力 W_{m1}

内部圧力 P [MPa] によってフランジを開こうとする力（エンドフォース） H と内部圧力 P の流体をシールするためにガスケットを圧縮する力 H_P を足し合わせた力が W_{m1} である。

$$W_{m1} [\text{N}] = H + H_P$$

エンドフォース H は、内圧が作用している断面積（有効径 G の円）と内部圧力 P の積である。

$$H \text{ [N]} = \frac{\pi}{4} G^2 \times P$$

シールするためにガスケットを圧縮する力 H_p は、ガスケット有効面積とシールに必要なガスケット面圧の積を2倍して安全を持たせたものである。シールに必要なガスケット面圧は、内部圧力 P とガスケット係数 m [-] の積である。

$$H_p \text{ [N]} = 2 \times \pi bG \times mP$$

以上をまとめると、使用状態で必要な締付力 W_{m1} は、次式で計算される。

$$W_{m1} \text{ [N]} = \frac{\pi}{4} G^2 P + 2 \pi bGmP$$

2.3 ガスケット締付時に必要な締付力 W_{m2}

ガスケットを用いて内部流体をシールするためには、ガスケットを圧縮変形させて、ガスケットとフランジの接触面の隙間やガスケット内部の空隙をふさぎ、流体の漏れの経路を断つ必要がある。

ガスケット締付時（初期なじみ）に必要な締付力 W_{m2} は、ガスケット有効面積と最小設計締付圧力 y [N/mm²] の積で求める。

$$W_{m2} \text{ [N]} = \pi bG \times y = \pi bGy$$

2.4 当社が推奨する締付力 W_{m3}

W_{m1} , W_{m2} の計算に用いるガスケット係数 m , 最小設計締付圧力 y は、1943年にRossheimとMarklによって提案されたガスケットの特性値であるが⁵⁾、当時の試験方法、条件が不明確なまま、ガスケット材質の非石綿化後も数値だけが独り歩きしている状態である。

水・油系流体は分子量が大きく、粘性が高いので比較的漏れにくいですが、ガス系流体は分子量が小さく、粘性も低いので微小な隙間を通過しやすく漏れやすい。そのため、ガスケットの特性値 (m , y) は、流体の種類によって異なる値となるはずであるが、当時の試験流体は、比較的漏れにくい水や蒸気であったと推測されている。

1998年に廃止されたASTM F586-79⁶⁾には、 m 値、 y 値の測定方法が規定され、試験流体として水か

窒素ガスを用いることが明記されていたが、その適用や許容漏えい量については不明確なままであった。試験内圧として、 m 値は2.07MPa, y 値は13.8kPaが規定されていた。

13.8kPaという非常に低い内圧をシールするために必要な締付力が W_{m2} であるが、その締付力でフランジローテーションを考慮する必要があるのか疑問である。実際に W_{m2} の締付力では、水・油系流体をシールするには十分であっても、ガス系流体の場合には、締付力が不足する場合があります。フランジ締結後の気密試験で漏れいが検知される場合が多く見られている。

当社では、 W_{m2} の問題点に対して、 W_{m3} という締付力を提案している。 W_{m3} はガスケットの有効面積ではなく、ガスケット接触幅 N の全面積 A_g [mm²] に、シールに必要な平均面圧（最小締付面圧 σ_3 [N/mm²]) を負荷するのに必要な締付力であり、次式で計算される。

$$W_{m3} \text{ [N]} = A_g \times \sigma_3$$

最小締付面圧 σ_3 は2MPaの流体をシールするのに必要な面圧を実験から求め、水・油系流体とガス系流体に対して、それぞれに設定している。

2.5 締付トルクの計算

W_{m1} , W_{m2} , W_{m3} の最大値をシールに必要な最小締付荷重 W_{min} とし、次式によって最小締付トルク T_{min} を計算する。 K はトルク係数(一般的に0.2とする)、 n はボルトの本数、 D はボルトの外径 [mm] である。

$$T_{min} \text{ [N}\cdot\text{m]} = \frac{1}{1000} \times K \times \frac{W_{min}}{n} \times D$$

一方、ガスケットに過剰な締付力を負荷すると、ガスケットが破壊し、シール性能を発揮しなくなる。そのため、各ガスケットには、締付力の上限の目安として、許容締付面圧 σ_{max} [N/mm²] が設定されている。許容締付力 W_{max} , 許容締付トルク T_{max} は次式で計算される。

$$W_{max} \text{ [N]} = A_g \times \sigma_{max}$$

$$T_{max} \text{ [N}\cdot\text{m]} = \frac{1}{1000} \times K \times \frac{W_{max}}{n} \times D$$

T_{min} から T_{max} の範囲内で締付を行えばシール可能である。ただし、締付力の上限については、ボルトやフランジの強度面からも考慮が必要である。

3. 締付手順

フランジ締結体において、ガスケットのシール性能を適正に発揮するためには、必要な締付力を全てのボルトに均等に負荷する必要がある。

複数本のボルトを順番に締め付けた場合、締め付けたボルトの両隣のボルトが緩んでしまう弾性相互作用と呼ばれる現象によって、各ボルトの締付力は刻々と変化し、全てのボルトを均等に締め付けることが難しい⁷⁾。弾性相互作用のイメージを図2に示す。ボルト1を締め付けると、フランジの変形によりボルト2は緩み、ボルト3は締付力が増加する。弾性相互作用の影響を最小限に抑えるためには、均等な力での締付を複数回、繰り返す必要がある。

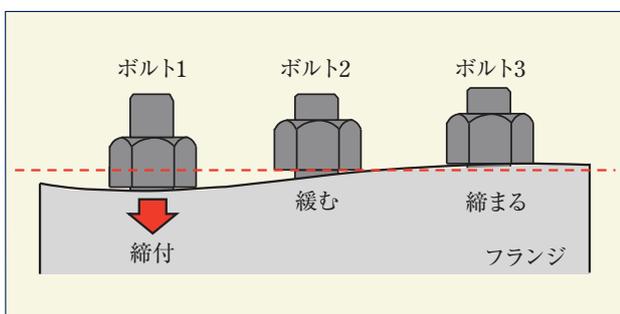


図2 弾性相互作用

弾性相互作用の影響を考慮した締付方法として、ASME PCC-1に対角（星形）に締め付けた後、周回締付けを繰り返す手順が規定されている。しかしながら、ASME PCC-1の手順では、全てのボルトを対角（星形）に締め付けるので、ボルト本数が多い場合、締付順序が複雑となり、締め忘れなどの作業ミス懸念がある。また、周回締付けをナットが回らなくなるまで繰り返すことを定めており、周回数に上限がなく、作業時間や労力が増加するといった課題がある。

これらの課題を改善する方法として、2008年にJIS B 2251が制定された。JIS B 2251は、日本高圧力技術協会（HPI）に設置された「圧力設備

のシーリング技術研究委員会」の研究成果⁸⁾に基づいている。この研究では、全てのボルトを対角（星形）締めする必要がなく、対象ボルトを減少できること、規定回数の周回締付けを行えば、均一な締付状態が得られることを有限要素解析と検証実験によって示し、信頼性と作業性を両立した締付方法を提案している。

以下にその締付手順を紹介する。適用対象は、ジョイントシートガスケットとうず巻形ガスケットである。

①目標締付トルクの設定

ボルト本数が8本以下の場合には、締付計算で得られた締付トルクの100%を目標締付トルクとする。ボルト本数が12本以上の場合には、弾性相互作用による締付力の低下を補償するため、締付計算で得られた締付トルクの110%を目標締付トルクとする。

②仮締付け

ボルト本数が8本以下の場合には、全てのボルトを締め付ける。ボルト本数が12本以上の場合には、締め付けの対象となるボルトを選択する（表1）。

対角（星形）の順に締め付け、締付トルクを段階的に増加させる（例えば、目標締付トルクの10%→20%→60%→100%）。各段階でフランジ面間距離が均等であることを確認する。

うず巻形ガスケットの場合は、片締めになりやすいので、仮締付けの最後に、目標締付トルクの50%で全ボルトの周回締付けを1回行う。

表1 仮締付けの対象ボルト

ボルト本数	締付対象ボルト
8本以下	全ボルト
24本以下	90° 間隔の4本
28本以上	45° 間隔の8本

③本締付け

全てのボルトを目標締付トルクの100%で締め付ける。ボルト本数が4本の場合には、対角（星形）締めとし、ボルト本数が8本以上の場合には、周回締めとする。フランジの呼び径が250Aより小さい場合は、周回数を4周とし、250A以上の場合には6周とする。

④増締め

応力緩和による締付力の低下を補償する必要がある場合は、本締付け終了から4時間以上経過した後、本締付けと同じ手順で1～2周締め付ける。

4. 運転中の締付力の維持

4.1 応力緩和による締付力の低下

初期締付で圧縮されたガスケットには、反発力が発生し、シール可能な状態を維持している。時間経過によってガスケットの反発力が、徐々に低下していく現象を応力緩和という。応力緩和で反発力が低下するとボルトが緩み、シールに必要な締付力を下回ると漏えいが発生する。

応力緩和の挙動は、ガスケットの材質によって異なり、ジョイントシートガスケットやふっ素樹脂系ガスケットなどの軟質系シートガスケットは、比較的応力緩和が大きく、うず巻形ガスケットなどのセミメタル系ガスケットやメタル系ガスケットは、応力緩和が小さい傾向にある。各種ガスケットの応力緩和挙動のイメージを図3に示す。

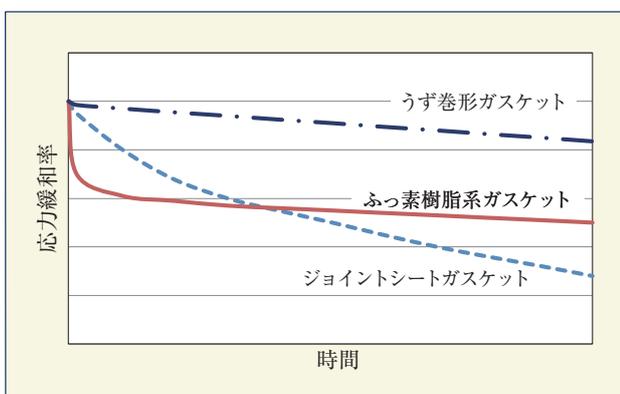


図3 各種ガスケットの応力緩和挙動

4.2 増締め（ホットボルティング）の注意点

運転初期の昇温状態は、内圧や温度の影響で締付力の低下が大きいため、増締め（ホットボルティング）は、締付力を回復させる有効な手段である。

しかしながら、運転条件はプラントごとに様々であり、ホットボルティングの方法や時期を明確に規定したものはない。経験などに基づいてプラントごとに独自の基準で実施している一例が、

JPI-8R-15に紹介されている程度である。

増締め（ホットボルティング）を実施する場合のガスケットごとの注意点を以下に挙げる。

- ・ジョイントシートガスケットは、昇温後、時間経過すると硬化するので、増締めできない。
- ・ふっ素樹脂系ガスケットは、昇温に伴い軟化して変形量が多くなる。ホットボルティングを実施する場合は、変形を抑制できる溝形フランジが好ましく、定量的な締付管理を行い、初期締付と同じ締付力とする。
- ・セミメタル系、メタル系のガスケットは、締付力による破損の心配は少ないが、軟質系と同様に定量的な締付管理は必要である。

当社としては、ホットボルティングを実施しなくてもシール性能を維持できるように、締付力の低下を見越して、初期締付力を高くすることを推奨する。

5. おわりに

当社では、各種プラントで使用されたガスケットを多数評価した結果、フランジ締結体から漏えいが見られたガスケットの大半からは、締付不足や片締めといった施工不良の痕跡が確認されている。本稿で紹介したガスケットの締付管理方法を参考にいただき、フランジ締結体からの漏えい事故の減少に寄与できれば幸いである。

参考文献

- 1) 日本工業規格, JIS B 8265 : 2010, 圧力容器の構造—一般事項
- 2) 日本工業規格, JIS B 2251 : 2008, フランジ継手締付け方法
- 3) ASME Standard, ASME PCC-1-2013, Guidelines for Pressure Boundary Bolted Flange Joint Assembly
- 4) 石油学会規格, JPI-8R-15-2008, フランジ・ボルト締付管理
- 5) Rossheim, D.B., Markl, A.R.C., Gasket-Loading Constants, *Mechanical Engineering*, Vol.65, No.9, p647-650 (1943)
- 6) ASTM Standard, ASTM F568-79, Standard Test Method for Leak Rates Versus y Stresses and m Factors for Gaskets
- 7) Bickford, J. H., Nassar, S., Handbook of Bolts and Bolted Joints, Marcel Dekker, p451-477 (1998)
- 8) 日本高圧力技術協会規格, HPIS Z 103 フランジ継手締付け指針

*本稿は日本工業出版株式会社刊 配管技術2018年2月増刊「配管技術者が知っておくべき工学知識」に掲載の記事に加筆修正を加えたものです。



負圧用途では、どのようなガスケットを使用すれば良いですか？



圧力の表現には、大気圧（1気圧）をゼロ点としたゲージ圧と、絶対真空をゼロ点とした絶対圧の二つがある。

一般的に、プラントなどの配管や機器など主に正圧（加圧）で使われる圧力は、ゲージ圧（単位の後にGと記す）で表現されるが、真空機器など負圧（減圧）で使われる圧力は、絶対圧（単位の後にaまたはabsと記す）で表現されることが大半である。ただし、負圧でもゲージ圧で表現されることもあるため、注意が必要である。

※天気予報などで良く耳にする気圧（1013hPaなど）は、絶対圧で表現されている。

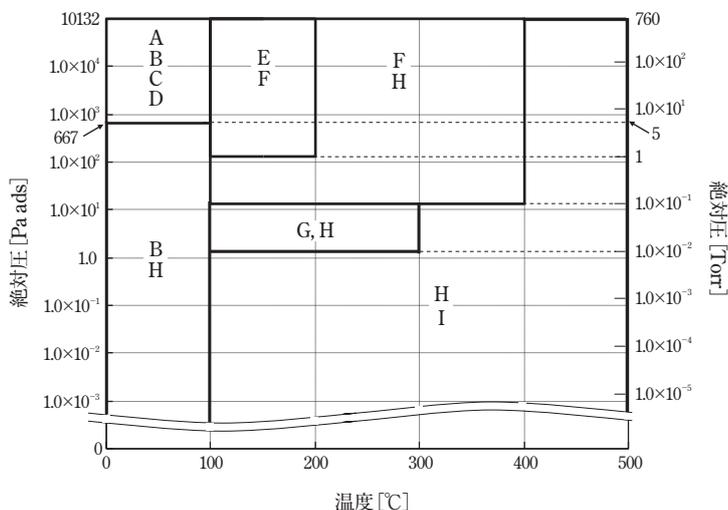
負圧の程度を表す区分として、真空度という言葉が用いられる。JIS Z8126では、真空度を表1のように定義している。

ガスケットの役割は、正圧の場合、内部流体が大気中へ漏えいするのを遮断することであるが、負圧の場合、フランジ部から大気中の空気が配管や機器の内部に流入するのを遮断することである。

表1 真空度

真空度	記号	絶対圧
低真空	LV	$10^5 \sim 10^2$ Pa abs
中真空	MV	$10^2 \sim 10^{-1}$ Pa abs
高真空	HV	$10^{-1} \sim 10^{-5}$ Pa abs
超高真空	UHV	$10^{-5} \sim$ Pa abs

負圧用途で使用されるガスケットの使用例を図1に示す。



記号	種類	TOMBO No.
A	ジョイントシートガスケット	1995, 1120
B	膨張黒鉛ガスケット (耐浸透処理を施したもの)	1215-AT, 1215-T
C	ゴムシートガスケット	1050
D	ゴムOリング	2670
E	純PTFEガスケット	9007
F	PTFE被覆ガスケット	9010シリーズ
G	充填材入りPTFEガスケット	1133, 9007-LC, 9007-SC
H	膨張黒鉛フィラーうず巻形 ガスケット	1804-GRシリーズ
I	PTFEフィラーうず巻形 ガスケット	9090シリーズ
H	メタルOシール	9200シリーズ
I	リングジョイントガスケット	1850-V

図1 負圧用途でのガスケット使用例

真空機器などでは、高い真空度が求められるためゴムOリング (TOMBO™ No.2670) や中空メタルOリング (TOMBO™ No.9200シリーズ) などが使用される。真空度を高める場合に、ゴムOリングはガスの透過などが影響し、中空メタルOリングはフランジやガスケットの面粗さが影響してくるので注意が必要である。また、穴あき型中空メタルOリング (TOMBO™ No.9200V) を使用する場合、真空用途では穴を外径側に開ける必要があるため、注意が必要である。

プラントなどの負圧ラインでしばしば見受けられるF.V. (フルバキューム) の条件では、シート系のガスケットやうず巻形ガスケットなどが使用されることが多い。圧力の条件としては、大気との差圧0.1MPa以下の空気 (大気) をシールすることができれば良いので、加圧条件で使われるガスケットの選定と同様に内部流体への耐食性、耐熱性、応力緩和特性に加え、空気のシール性に優れたガスケットを選定すれば良い。石油学会規格JPI-7S-81「配管用ガスケットの基準」では、負圧の条件を0.7kPa absまでとしてガスケットの選定の基準としている。

負圧ラインで使用する場合、ガスケットにはフランジの内部へ引き込まれる力が作用するので、シート系ガスケットなどの軟質ガスケットの場合には注意が必要である。ゴムシートガスケットなどは、フランジが平面座 (レイズドフェイス, RF) でも全面 (フルフェイス, FF) 形にするなど、引き込まれを防ぐための対策が必要である。また、被覆材が滑りやすく構造的にも引き込まれやすいPTFE被覆ガスケットは、被覆材も全面形状にしてボルト穴を開けたり、内パッキン (フラットリング, FR) 形状の場合には、外周を溶着するまたは縫製するなどの対策が必要である。なお、これらのガスケットは、締め付けによって破壊や過大な変形をしやすいため、締め付け管理にも注意が必要である。

また、ジョイントシートガスケットや膨張黒鉛シートガスケットは、空気がガスケット内部へ浸透しやすいため、ペーストなどの補助材や、浸透を抑制するような処理を必要とする場合がある。ふっ素樹脂系ガスケットはこれらの処理を必要としないが、純PTFEガスケットはクリープ変形量が多いため、タンク&グループ (T&G) 座で使うのが適切である。

* 本稿は、月刊トライポロジー誌 (2015年3月号) に掲載された記事に一部加筆修正を加えたものです。

* 「TOMBO」はニチアス(株)の登録商標または商標です。

今回をもってシール材Q&Aを終了します。これまでご紹介した内容について下表に一覧をまとめました。弊社WEBページに掲載しております各技術時報をご参照いただければ幸いです。

回	年	号	題名
1	2015	4	ガスケットとパッキンの違いは何ですか？
2	2016	1	一度締め付けたガスケットの再使用は出来ますか？
3		2	ガスケットはどのくらいの力で締め付けられればシールできますか？
4		3	ガスが漏れやすいのはなぜですか？
5		4	ガスケットにガスケットペーストを塗布して使っていますが、注意する点はありますか？
6	2017	1	フランジを締め付け過ぎるとどうなりますか？
7		2	どれくらいの期間、ガスケットは使用できますか？
8		3	PTFE 被覆ガスケットは、なぜ圧縮破壊しやすいのですか？
9		4	シート系ガスケットの破断による漏れの対処方法は、どうすればよいですか？
10	2018	1	メタルジャケットガスケットが漏れやすいのですが、どのような対策が考えられますか？

「ニチアス技術時報」 バックナンバー

2018/1号 通巻 No. 380



- 〈巻頭言〉 新年雑感
- 〈解説〉 ニチアスの保冷技術
- 〈解説〉 冷蔵倉庫の防熱事業について
- 〈技術レポート〉 繊維系多孔質吸音材料の Biot パラメータの推定
- 〈新技術紹介〉 吸音性に優れた超軽量無機質スポンジ状素材
- 〈連載〉 シール材 Q&A (第10回)

2017/4号 通巻 No. 379



- 〈巻頭言〉 浜松研究所の新棟竣工にあたって
- 〈紹介〉 技術展示室 “Innovation Gallery” 開設
- 〈製品紹介〉 断熱材にアルカリアースシリケートウールを使用した TOMBO™ No.9999-NA 「NA ベロー Q®」
- 〈製品紹介〉 クッション材にアルカリアースシリケートウールを使用した TOMBO™ No.1841/1861 「NA メタルジャケットガスケット」 シリーズ
- 〈解説〉 医療用マルチルーメンチューブ成形技術
- 〈連載〉 シール材 Q&A (第9回)

2017/3号 通巻 No. 378



- 〈新製品紹介〉 ファインフレックス BIO® 応用製品 TOMBO™ No.5655 「ファインブロック®」
- 〈製品紹介〉 ニチアスのフィルター製品
- 〈製品紹介〉 低濃度有機溶剤濃縮機 TOMBO™ No.8805-SC 「ソルベントクリーン®」
- 〈製品紹介〉 産業用除湿ロータ TOMBO™ No.8800-AC-SG 「ハニクル® SG」 TOMBO™ No.8800-MS 「ハニクル® MS」
- 〈製品紹介〉 気化式加湿+ケミカル物質除去装置 TOMBO™ No.8805-HW 「ハニカムウォッシャー®」
- 〈製品紹介〉 気化式加湿エレメント TOMBO™ No.8808-HE-H 「ヒューセル®」
- 〈連載〉 シール材 Q&A (第8回)

2017/2号 通巻 No. 377



- 〈新製品紹介〉 高温耐熱ボード TOMBO™ No.5461-16LDA 「RF ボード™ 16LDA」 TOMBO™ No.5461-17MDA 「RF ボード™ 17MDA」
- 〈新製品紹介〉 ペースト状不定形耐火物 TOMBO™ No.5675 「ファインフレックス BIO® キャスト」
- 〈サービス紹介〉 プラント設備の省エネルギー対策と保全に貢献する 「e-AIM®工法」
- 〈製品紹介〉 耐薬品性・耐熱性・純粋性に優れたふっ素樹脂製品
ふっ素樹脂ライニング製品
- 〈連載〉 シール材 Q&A (第7回)

次号 2018/3号 通巻 No. 382 は 2018年7月発行予定です。

ニチアス株式会社

<http://www.nichias.co.jp/>

【東日本地区】

札幌支店	TEL (011) 261-3506
苫小牧営業所	TEL (0144) 38-7550
仙台支店	TEL (022) 374-7141
福島営業所	TEL (0246) 38-6173
日立営業所	TEL (0294) 22-4321
鹿島支店	TEL (0479) 46-1313
宇都宮営業所	TEL (028) 610-2820
前橋営業所	TEL (027) 224-3809
千葉支店	TEL (0436) 21-6341
東京支社	TEL (03) 4413-1191
横浜支店	TEL (045) 508-2531
神奈川支店	TEL (046) 262-5333
新潟営業所	TEL (025) 247-7710
山梨営業所	TEL (055) 260-6780

【中部地区】

富山営業所	TEL (076) 424-2688
若狭支店	TEL (0770) 24-2474
静岡支店	TEL (054) 283-7321
浜松支店	TEL (053) 450-2200
名古屋支社	TEL (052) 611-9200
豊田支店	TEL (0565) 28-0519
四日市支店	TEL (059) 347-6230

【西日本地区】

京滋支店	TEL (0749) 26-0618
大阪支社	TEL (06) 6252-1371
堺営業所	TEL (072) 225-5801
神戸営業所	TEL (078) 381-6001
姫路支店	TEL (0792) 89-3241
岡山支店	TEL (086) 424-8011
広島支店	TEL (082) 506-2202
宇部営業所	TEL (0836) 21-0111
徳山支店	TEL (0834) 31-4411
四国営業所	TEL (0897) 34-6111
北九州営業所	TEL (093) 621-8820
九州支社	TEL (092) 739-3639
長崎支店	TEL (095) 801-8722
熊本支店	TEL (096) 292-4035
大分営業所	TEL (097) 551-0237

本 社 〒104-8555 東京都中央区八丁堀1-6-1

・基幹産業事業本部	TEL (03) 4413-1121
工事業部	TEL (03) 4413-1124
基幹製品事業部	TEL (03) 4413-1123
プラント営業部	TEL (03) 4413-1126
・工業製品事業本部	TEL (03) 4413-1131
海外営業部	TEL (03) 4413-1132
・高機能製品事業本部	TEL (03) 4413-1141
・自動車部品事業本部	TEL (03) 4413-1151
海外営業部	TEL (03) 4413-1155
・建材事業本部	TEL (03) 4413-1161

研 究 所

・浜松 ・鶴見

工 場

・鶴見 ・王寺 ・羽島 ・袋井 ・結城

海外拠点

・インドネシア ・マレーシア ・シンガポール ・ベトナム
 ・タイ ・中国 ・インド ・ドイツ ・イギリス ・チェコ
 ・メキシコ